

## ROTORBLÄTTER AUF DEM PRÜFSTAND





Akkreditierung gemäß DIN EN ISO/IEC 17025:2005 für die Bestimmung physikalischer Eigenschaften von faserverstärkten Kunststoffen und Faserverbundwerkstoffen mittels mechanisch-technologischer und thermischer Prüfungen; Prüfung der mechanischen Beanspruchungen an Windenergieanlagen



Das Fraunhofer IWES ist DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert für Produktentwicklung bis zum Prototypen-Stadium, Technologieentwicklung und -optimierung sowie Erprobung in Demonstrationszentren

## SCHLANKER, LEICHTER, LANGLEBIGER

Die Windenergiebranche bleibt globaler Wachstumsmarkt und wichtige Säule der Energiewende. Der seit einigen Jahren deutlich angezogene Kostendruck wird zum Innovationstreiber: Die technischen Anforderungen an die Anlagen wachsen ständig. Gleichzeitig müssen die Kosten für Fertigung und Betrieb sinken. Rotorblättern kommt deshalb eine zentrale Bedeutung zu. Sie sollen schlanker, leichter und langlebiger werden.

Wir sind überzeugt: Diese Herausforderungen sind nur durch eine ganzheitliche und interdisziplinäre Betrachtung zu meistern. Aus diesem Grund arbeiten unsere Wissenschaftler an innovativen Lösungen für immer bessere Rotorblätter – und das fächerübergreifend in den Bereichen Blattdesign, Ganzblattprüfung, Komponententests und Fertigung.

Im Jahr 2018 haben wir unsere 30. Ganzblattprüfung für die Zertifizierung von Prototypen durchgeführt. Dabei verbessern wir unsere Testmethoden ständig weiter. So entwickeln wir Großkomponententests, bei denen die Untersuchung einzelner Blattdetails unter besonders wirklichkeitsnahen mechanischen Lasten möglich ist. Um immer längere Rotorblätter für Offshore-Anlagen zu testen, setzen wir auf segmentierte Testverfahren.

Eine Eigenentwicklung ist auch unser Prüfstand für Leading Edge Protection (LEP). Einzigartig: Hier untersuchen wir neben der Regenerosion auch die Entstehung von Eisansatz. Das ermöglicht eine detaillierte Betrachtung der komplexen Wechselwirkungen.

Um das Leichtbaupotential moderner Faserverbundwerkstoffe voll auszuschöpfen, ist ein präzises Verständnis des mechanischen Verhaltens erforderlich. Aus diesem Grund haben wir für unsere Kunden in den vergangenen Jahren hunderte von Komponenten- und tausende von Coupontests durchgeführt. Parallel dazu arbeiten wir intensiv an der Entwicklung von Prüfmethoden und Materialmodellen.

Da ein gelungenes Blattdesign gute aerodynamische Eigenschaften mit niedrigen Produktionskosten vereint, beraten wir außerdem im Bereich strukturelle Auslegung/Fertigung und entwickeln eigene CFD Design Tools.

In unserem BladeMaker-Demonstrationszentrum ist die Rotorblattfertigung der Zukunft erlebbar. Anlagenhersteller können hier alternative Fertigungsprozesse und Materialien erproben, und Zulieferunternehmen steht eine Entwicklungsplattform für neue Produkte und Dienstleistungen zur Verfügung.

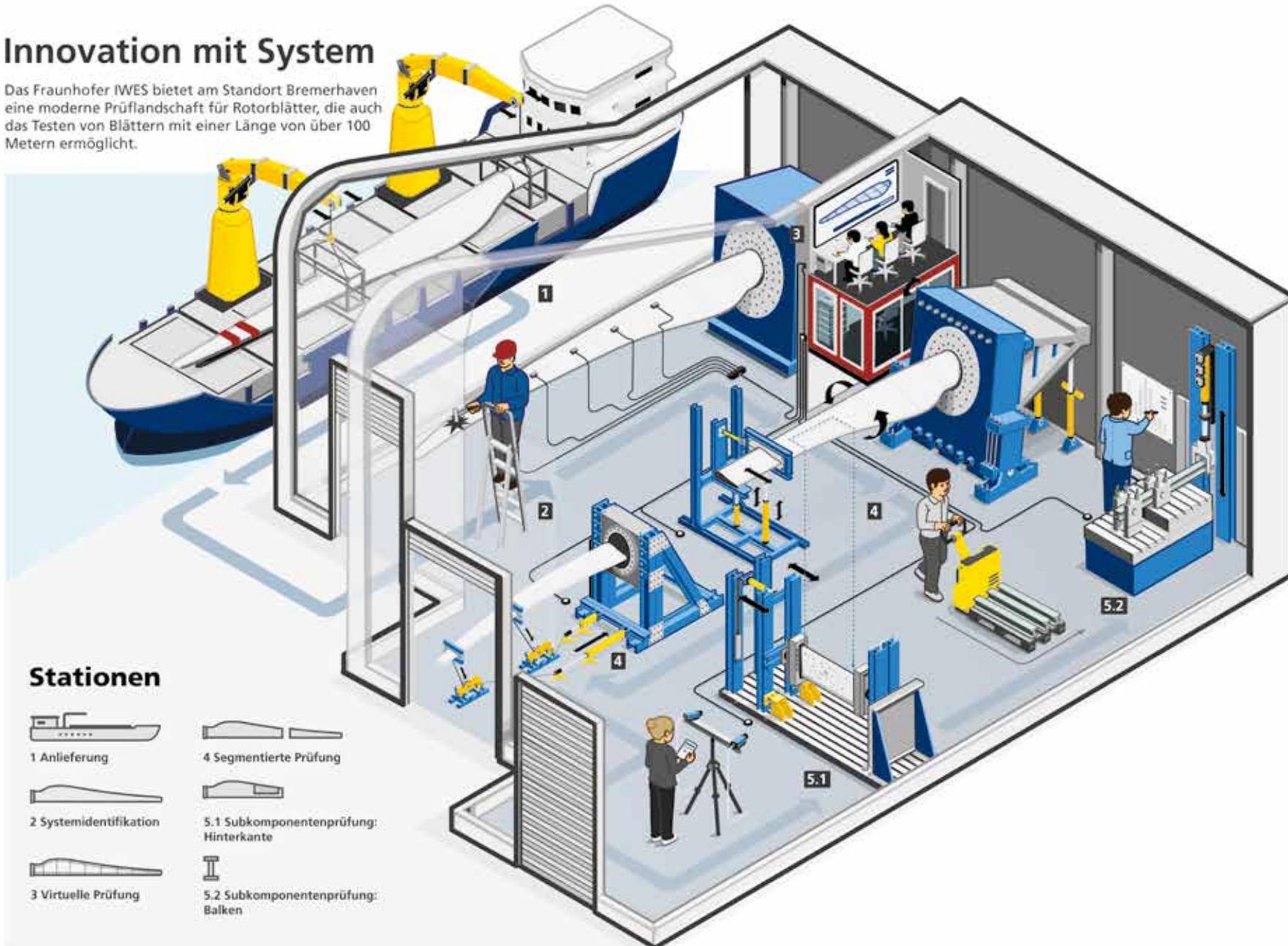
Es gibt viel zu tun und wir sind gut aufgestellt, die Herausforderungen zu meistern: Fordern Sie uns heraus!



**Dr.-Ing. Steffen Czichon**  
Abteilungsleiter

# Innovation mit System

Das Fraunhofer IWES bietet am Standort Bremerhaven eine moderne Prüflandschaft für Rotorblätter, die auch das Testen von Blättern mit einer Länge von über 100 Metern ermöglicht.



## ROTORBLATTPRÜFUNG AM FRAUNHOFER IWES

Immer längere Rotorblätter erfordern ein exzellentes Strukturverständnis, da nur mit diesem Wissen eine optimale Ausnutzung der Tragreserven von Leichtbauwerkstoffen möglich ist. Das Fraunhofer IWES verbessert deshalb ständig die eingesetzten Testmethoden, um immer umfassendere Ergebnisse zu erhalten. Am Standort Bremerhaven bietet das Fraunhofer IWES die gesamte Bandbreite mechanischer Prüfungen an Rotorblattstrukturen. Dabei profitieren Kunden von innovativen Prüfmethoden: Die moderne Infrastruktur ist auch für die Tests an Rotorblättern mit einer Länge von mehr als 100 Meter ausgelegt. Die sich ergänzenden Prüfstationen ermöglichen eine ganzheitliche Betrachtung des Rotorblattes.

### 1 Anlieferung

Vor allem für Blätter mit einer Länge von mehr als 100 Metern wird es auf der Straße eng. Da das Fraunhofer IWES direkt am Hafen liegt, bietet das Institut optimale Voraussetzungen für die Anlieferung besonders langer Rotorblätter per Schiff.

### 2 Systemidentifikation

Nach der Anlieferung erfolgt eine Systemidentifikation. Dabei kommt unter anderem eine experimentelle Modalanalyse (EMA) zum Einsatz. Das Blatt wird dabei über eine definierte Energieeinleitung in Schwingung versetzt. Die Messung der Systemantwort erfolgt über Beschleunigungsaufnehmer. Zusammen mit den Ergebnissen aus Gewicht- und Schwerpunktmessung fließen diese Daten in ein numerisches Modell des Rotorblattes ein und helfen, dieses zu detaillieren.

### 3 Virtuelle Prüfung

Anhand des numerischen Modells ist die Auslegung eines optimalen Testsetups möglich. Die genaue Erfassung des Bauzustands im Vergleich zum Design ermöglicht zukünftig auch eine genauere Strukturauslegung der Rotorblätter.

### 4 Segmentierte Blattprüfung

Für besonders lange Blätter bietet sich eine segmentierte Prüfung an, bei der Blattspitze und Blattwurzel getrennt getestet werden. Die Prüfung lässt sich dadurch erheblich beschleunigen und einzelne Bereiche lassen sich gezielt realistischer belasten. Hierzu dienen auch die biaxiale Anregung und das Aufbringen von Torsionslasten.

### Subkomponentenprüfung

Um die Werkstoffe optimal auszunutzen, ist eine genaue Kenntnis der Streuung der Materialkennwerte erforderlich, da sich dadurch die Sicherheitsbeiwerte reduzieren lassen. Dabei muss die Streuung der Kennwerte nicht nur auf Materialebene, sondern auch auf Strukturebene berücksichtigt werden. Aufgrund der hohen Kosten ist eine statistische Absicherung durch wiederholte Prüfungen im Ganzblatttest nicht darstellbar. Eine Alternative bieten Komponententests. Hierfür entwickelt das Fraunhofer IWES neue Verfahren.

#### 5.1 Subkomponentenprüfung: Hinterkante

Hier wird zum einen der Ansatz verfolgt, Prüfungen an Ausschnitten aus dem Ganzblatt durchzuführen – zum Beispiel einem Hinterkantensegment. Dieses Verfahren ermöglicht die besonders realistische Abbildung von Lasteinleitungen und Spannungszuständen.

#### 5.2 Subkomponentenprüfung: Balken

Außerdem erfolgen Tests an generischen Subkomponenten – wie etwa speziellen Biegebalken für die Untersuchung von Klebnähten. Dieser zweite Ansatz ermöglicht aufgrund der vergleichsweise geringen Kosten eine größere Anzahl an Versuchen.



## GANZBLATTPRÜFUNG

Rotorblätter sind in struktureller Hinsicht eine der kritischsten Komponenten einer Windenergieanlage. Um ihre Zuverlässigkeit zu gewährleisten, bietet das Fraunhofer IWES als unabhängige Einrichtung Strukturtests von großen Rotorblättern sowohl für die Modellvalidierung als auch für die Zertifizierung an. Seit 2009 wurden mehr als 30 Rotorblätter mit einer Länge von bis zu 83 Meter getestet.

### **Hohes Maß an Vertraulichkeit**

Die Prüfverfahren des Fraunhofer IWES sind gemäß IEC 61400-23 akkreditiert. Kundenspezifische und IEC-Standard-Blattprüfungen erfolgen auf einem von zwei separaten Prüfständen, die in benachbarten Hallen untergebracht sind. Dieses Verfahren ermöglicht Kunden den flexiblen Zugang zu ihren Rotorblättern und gewährleistet gleichzeitig ein hohes Maß an Vertraulichkeit. Die unmittelbare Nähe der Hallen zum Bremerhavener Hafen ist außerdem ideal für die Anlieferung größerer Rotorblätter.

### **Statische Tests**

Die statische Belastung wird mit hydraulischen Zylindern und einem Seilzugsystem auf Lastscheren aufgebracht, die an bis zu acht Stellen des Blattes befestigt sind. Jede Lastschere ist kundenspezifisch ausgelegt und angefertigt – basierend auf der spezifischen Geometrie des getesteten Rotorblattes. Um die aus dem Eigengewicht des Rotorblattes resultierenden Kräfte zu begrenzen, erfolgen die Tests senkrecht zum Boden der Testhalle. An jeder Lastschere sind Lasten von bis zu 500 kN möglich. Zusätzlich kann der Block von Prüfstand II gekippt werden – für Rotorblätter mit starker Biegung.

Mittels mehrerer hundert Messsignale mit Frequenzen bis zu 400 Hz wird der Versuchsablauf überwacht; ein optisches Messsystem zeichnet die dreidimensionale Biegung des Rotorblattes auf.

### **Zyklische Prüfung**

Bei einachsigen dynamischen Ermüdungstests wird das Rotorblatt nacheinander in vertikaler und in horizontaler Richtung belastet. Hierzu wird ein servo-hydraulischer Zylinder entweder vertikal (Test der Schlagrichtung) oder horizontal (Test der Schwenkrichtung) an das Blatt gekoppelt. Der Zylinder regt das Blatt in seiner Eigenfrequenzschwingung an, wodurch die Belastung aus Zylinderkräften auf das Blatt sehr gering wird. Die gewählte hydraulische Anregung ermöglicht eine sehr genaue Durchführung der Untersuchungen.

### **Sehr realistische Belastungen**

Einen Schwerpunkt bilden darüber hinaus Entwicklungen für biaxiale Blattprüfungen, die zu einer realistischeren Blattbelastung führen werden und eine Verkürzung der Blattprüfung ermöglichen. Der Grund für die Zeiterparnis: Beide Ermüdungsversuche (in Schwenk- und Schlagrichtung) erfolgen gleichzeitig und nicht hintereinander. Der Prüfbereich des Blattes wird dadurch erweitert, dass die eingebrachten Schädigungen in den Hauptrichtungen denen der uniaxialen Versuche entsprechen. Darüber hinaus werden auch die Bereiche außerhalb der Hauptachsen belastet, und so zum Beispiel die eingebrachte Schädigung im Panelbereich erhöht. Dies führt zu einer besseren Abbildung der Blattlasten und erhöht die Realitätsnähe der Blattprüfung. Das Fraunhofer IWES beschäftigt sich insbesondere mit der Entwicklung von Verfahren, die eine gezielte Beeinflussung der Blatteigenfrequenzen für die Prüfung ermöglichen. Hierbei werden unterschiedliche

Verfahren betrachtet, um einachsige wirkende Belastungen aufzubringen. Ein wichtiger Schritt dabei ist die numerische Vorauslegung der geplanten Blattprüfung. Dabei werden alle prüfstands- und blattrelevanten Parameter abgebildet und der Ermüdungsversuch vorab simuliert. Dies wird bereits für die uniaxialen Versuche umgesetzt und weiterentwickelt, um die geforderten Zielbiegemomente so genau wie möglich zu treffen. Für die biaxiale Prüfung wird dieser Aspekt weiter in den Vordergrund rücken, um die Durchführung überhaupt zu ermöglichen und effektiv zu gestalten. Das Fraunhofer IWES entwickelt Methoden zur Einführung virtueller Testmethoden als Ergänzung zu physischen Prüfungen. Werkstoff-, Fertigungs- und Designdetails werden von der zu prüfenden Komponente oder Gesamtstruktur ermittelt und die heutigen Designmodelle entsprechend ergänzt. Die numerische Abbildung des Prüflings und des Prüfaufbaus wird anhand kritischer Versagensmodi experimentell validiert, sodass die Modellzuverlässigkeit und die Gültigkeit für das Blatt bewertet werden können.

### Weitere Services

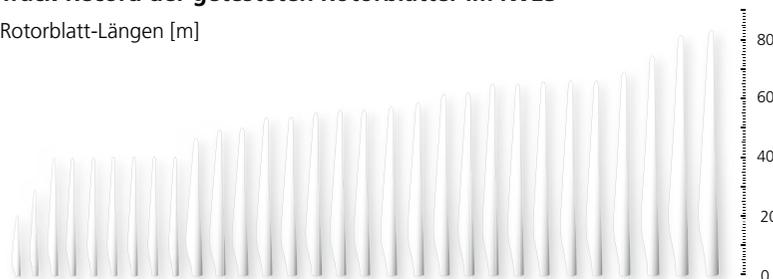
Das Fraunhofer IWES bietet eine Vielzahl von zusätzlichen Dienstleistungen. Dazu gehört das Aufsetzen umfassender Testprogramme, kundenspezifischer Tests wie Torsionsbelastungen oder Tests von Hebeseystemen und anderen großen Strukturen. Auch eine experimentelle Modalanalyse ist mittels Impact- oder Modal-Shaker-Tests durchführbar. Dabei kann eine bestimmte Frequenz oder ein Bereich von Frequenzen angeregt werden, um modale Parameter wie Eigenfrequenzen, Dämpfungsverhältnisse oder Schwingform zu bestimmen.

### Innovative Tests von Blattsegmenten

Um weiterhin XXXL-Blätter testen zu können, entwickelt das Fraunhofer IWES neue Methoden zum Test von Blattsegmenten. Die parallele Prüfung von strukturell signifikanten Blattteilen sorgt für eine vereinfachte Logistik, weniger Vorspannung durch Eigengewicht und eine Verkürzung der Prüfzeit.

### Track-Record der getesteten Rotorblätter im IWES

Rotorblatt-Längen [m]



| Ausstattung                                | Prüfstand I    | Prüfstand II |
|--|----------------|--------------|
| Max. Durchmesser des Blattanschlusses      | 4,0 m          | 6,0 m        |
| Max. statisches Biegemoment                | 50 MNm         | 115 MNm      |
| Max. dynamisches Biegemoment               | ± 30 MNm       | ± 30 MNm     |
| Neigungswinkel                             | 2,5 ° - 12,5 ° | 0 ° - 20 °   |
| Max. statische Auslenkung der Blattspitze  | 17,5 m         | 30,0 m       |
| Max. dynamische Auslenkung der Blattspitze | ± 9,5 m        | ± 11,0 m     |

## VORDERKANTENSCHUTZ

Die Rotorblattspitzen einer Windenergieanlage erreichen im Volllastbetrieb eine Geschwindigkeit von über 300 km/h. Regentropfen wirken bei dieser Geschwindigkeit wie Schmirgelpapier auf der Oberfläche. Bereits kleine Schäden verursachen eine punktuelle Aufrauung der Oberflächen, die den Ertrag mindert und die Wirtschaftlichkeit beziehungsweise die Lebensdauer der gesamten Anlage beeinträchtigen.

Die besonders stark beanspruchten Teile wie die Flügelvorderkanten sind daher mit speziellen Schutzsystemen wie Folien oder Lacken ausgestattet – Vorderkantenschutz oder Leading Edge Protection (LEP) genannt. Doch noch gibt es keine Beschichtung, die Regen, Hagel, Temperaturschwankungen, UV-Licht und Luftfeuchte über die gesamte Lebensdauer einer Anlage standhalten kann. Aus diesem Grund betreibt das Fraunhofer IWES seit 2015 einen Regenerosionsprüfstand, um Schadenverläufe nachvollziehbar zu machen und wirkungsvolle Schutzmaßnahmen abzuleiten. Im Regenerosionsprüfstand werden Substrate mit unterschiedlichen Beschichtungen unter verschiedenen Bedingungen getestet. Dabei ist die Menge und Größe der Tropfen, der Zeitpunkt und die Häufigkeit des Aufschlags, die Temperatur und die UV-Einstrahlung exakt regulierbar.

Ein Tropfeneinschlagssystem, das in der Entwicklung ist, misst, wo genau die Tropfen aufprallen und welche Schädigungen sie dabei verursachen. Der gesamte Prüfstand soll mit einer CFD-Simulation nachgebildet und die Dokumentation der Schäden mit einem laserbasierten Inspektionssystem und einer Highspeed-Kamera erfolgen. Dabei werden die Topologie der Proben sowie Schäden im Mikrometer-Bereich dokumentiert. Die Entwicklung eines adäquaten Material- und Schadensmodells macht die Vorgänge auf Materialebene besser nachvollziehbar. Die Ergebnisse helfen Materialzulieferern für die Rotorblattproduktion ihre Produkte den praktischen Anforderungen bestmöglich anzupassen. 2018 wurde der Erosionsprüfstand so erweitert, dass darin auch Vereisungstest zuverlässig durchgeführt werden können.



### Ausstattung

- Max. Geschwindigkeit: 550 km/h
- Temperaturen: 4 ° bis 40 ° C
- Variable Tröpfchengröße: 1,5 bis 5,5 mm

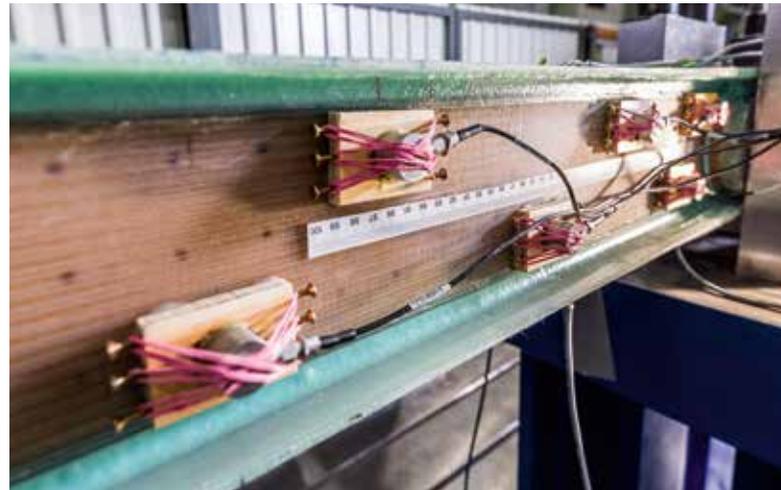
## KOMPONENTENPRÜFUNG

Im Designprozess von Rotorblättern führt der große dimensionale Unterschied zwischen Materialprüfung und den gefertigten Bauteilen zu Unsicherheiten und Risiken. Die Validierung der Modelle oder die Ermittlung von Strukturkennwerten bieten die Möglichkeit, diese Risiken während der Betriebszeit einer Turbine wesentlich zu verringern.

Die Expertise des Fraunhofer IWES liegt insbesondere im Bereich der Prüfung höchstkritischer und struktureller Flächen wie Klebnähten, Laminatabstufungen, künstlicher Gurte und Blatthinterkanten. Einen Schwerpunkt bildet die Prüfung von Querkraftbiegebalken, auf die eine spezielle Kombination aus Schub- und Axialbeanspruchungen wirkt. Im Rahmen von Ermüdungsversuchen können unterschiedliche Klebstoffe verglichen und ihre jeweiligen Fehlerschwellen sowie die zulässigen Klebnahthöhen ermittelt werden.

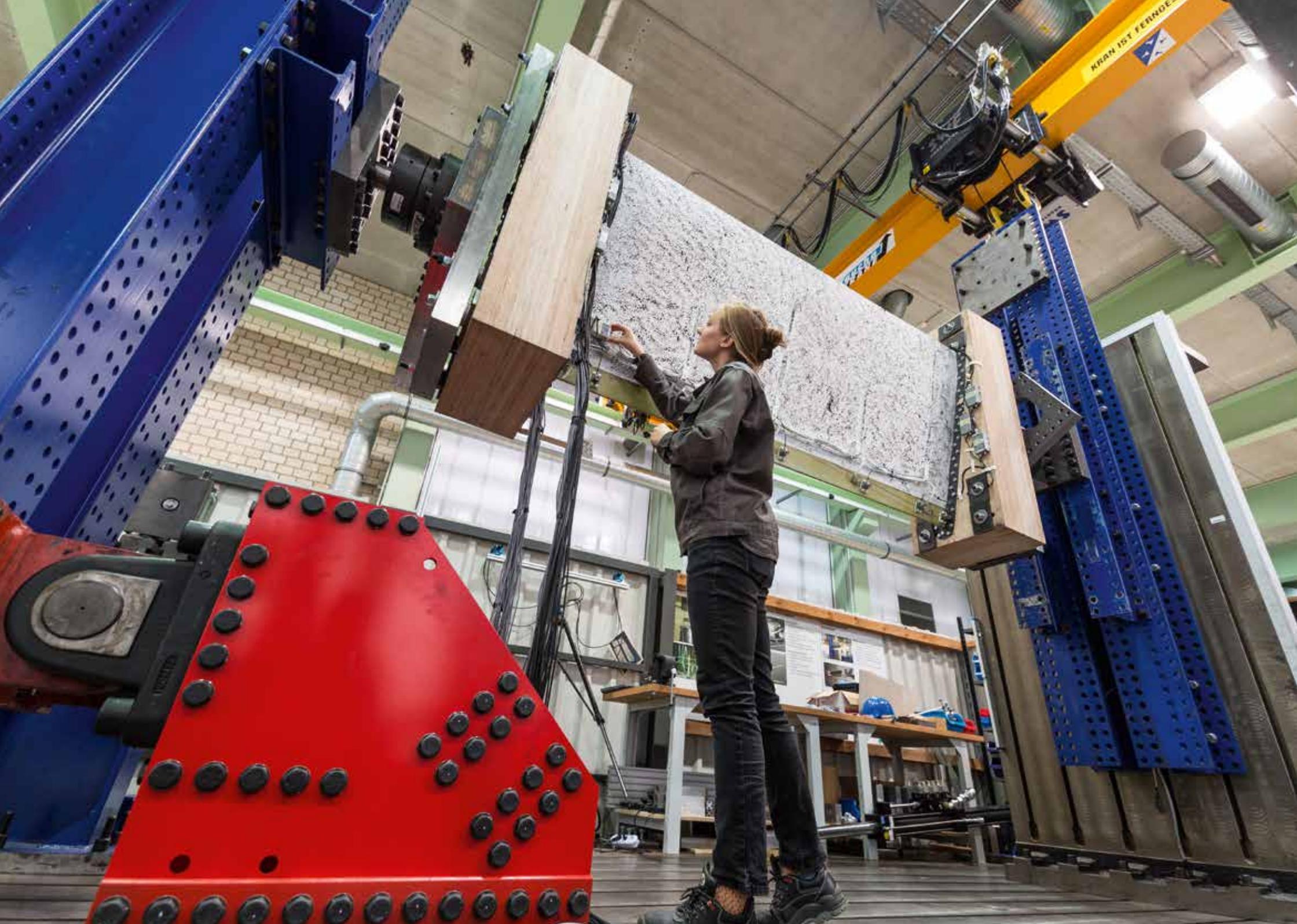
Materialhersteller, Blattproduzenten oder andere industrielle Auftraggeber profitieren am Fraunhofer IWES insbesondere von der flexiblen Infrastruktur, die auf individuelle Kundenanforderungen ausgerichtet ist. Neben zehn Jahren Erfahrung in der Komponenten- und Strukturprüfung bietet das Institut zudem eine State-of-the-Art Prüfumgebung, die unter anderem ein klimatisiertes Prüflabor umfasst.

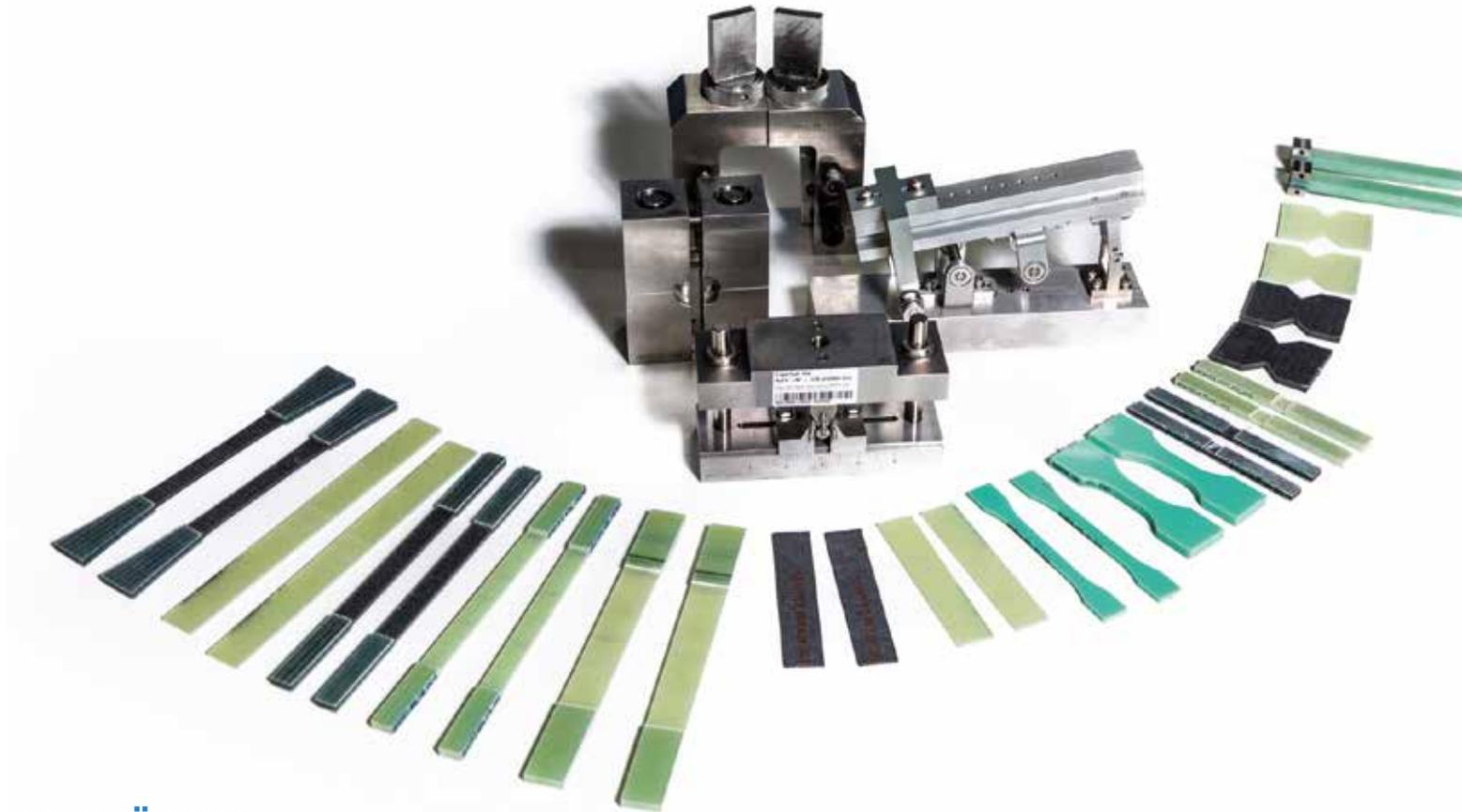
Die Prüfungen werden von zerstörungsfreier Inspektion begleitet. Dabei setzt das Fraunhofer IWES auf eine Kombination von Thermografie, Ultraschall und Acoustic Emission. Unsere Experten verfügen darüber hinaus über eine herausragende Expertise bei der Produktion von Prüflingen, die den Kundenwünschen entsprechend gefertigt werden.



### Ausstattung

- 1 & 2.5 MN servo-hydraulische Prüfmaschine
- 150 mm Zylinderweg ( $\pm 3.5$  mm bei 2 Hz)
- Max. Probenlänge: 3000 mm
- Flexible Testaufbauten durch T-Nutentisch
- Spannfeld
  - Maße: 12 x 3 m
  - 3500 kNm Biegemoment
  - Hydraulische Zylinder (25 bis 200 kN und bis zu 800 mm Auslenkung)
- Bewährte Shutdown-Strategien
- NDT prüfbegleitend





## MATERIALPRÜFUNG

Windenergieanlagen mit bis zu 90 Meter langen Rotorblättern sollen für maximale Energieausbeute sorgen. Da die Länge der Blätter durch ihr Gewicht begrenzt wird, liegt der Branchenfokus auf dem Einsatz leichter Hochleistungswerkstoffe. Fundierte Materialkenntnisse werden für Hersteller und Zulieferer in der Rotorblattproduktion deshalb immer wichtiger.

Das Fraunhofer IWES verfügt über eine mehr als zehnjährige Expertise im Faserverbund- und Rotorblattbereich und bietet neben Standardprüfungen

auch maßgeschneiderte Materialnachweise an. Ein besonderer Schwerpunkt liegt im Bereich der spezifischen Herstellverfahren von Faserverbundprüfkörpern sowie der Durchführung und Auswertung von Prüfverfahren.

Die Bandbreite reicht von der groben Materialeinschätzung (Screening) bis zur vollständigen Charakterisierung. Je nach Fragestellung werden Materialien wie Gelege, Harze oder Schäume auf ihre Eignung für Rotorblätter untersucht. Materialproben werden je nach Kundenanforderung angefertigt.

Da Rotorblätter im Betrieb enormen Belastungen ausgesetzt sind, spielen Ermüdungsprüfungen eine zentrale Rolle. Das Institut ist in diesem Bereich akkreditiert nach DIN EN ISO 17025:2005 und nutzt modernes Equipment und effiziente Verfahren.

Die servo-hydraulischen Prüfmaschinen sind mit besonders steifen und präzisen Spannzeugen ausgestattet, die speziell für die Prüfung von Faserverbundprüfkörpern unter dynamischer Belastung entwickelt wurden. Alle Aktivitäten am Prüfstand werden mit modernster Kameratechnik aufgezeichnet. Das ermöglicht eine lückenlose und detaillierte Dokumentation der Schadenverläufe und macht die Entstehung von Rissen besser nachvollziehbar.

Die parallele Simulation klimatischer und mechanischer Lasten erfolgt in einer auf minus 40 Grad Celsius kühlbaren Klimakammer, ist normgerecht (DIN/ISO), exakt regulierbar und reproduzierbar. Zudem verfügt das Fraunhofer IWES über ein Analyselabor für die Untersuchung von grundlegenden physikalischen Materialeigenschaften. Dazu gehören zum Beispiel die Glasübergangstemperatur oder die Dichte der Materialproben. Auch eine Vielzahl zerstörungsfreier Prüfungen gehört zum Leistungsportfolio. Sie liefern genaue Aussagen über den Schadenverlauf während einer mechanischen Prüfung.



#### Ausstattung

- Universalprüfmaschinen mit Maximalkraftbereich 25 bis 2500 kN für statische und dynamische Prüfungen
- Servo-hydraulische Zug-Druck-Torsionsprüfmaschine für biaxiales Testen
- Klimakammer für parallele Simulation mechanischer und klimatischer Lasten (-45 °/130 °/Luftfeuchtigkeit/UV)
- Composite Lab
  - RTM
  - Vakuum-Infusion
  - Heiztisch
  - Präzise Probenfertigung
- Differential-Scanning-Calorimetry (DSC)
- Dynamisch Mechanische Analyse (DMA)
- Wärmeformbeständigkeit (Heat Deflection Temperature, HDT)



## ROTORBLATTFERTIGUNG

Die Rotorblattproduktion macht bis zu 20 Prozent der Gesamtkosten einer Windenergieanlage aus und erfolgt heute noch überwiegend in Handarbeit. Mit innovativen Fertigungstechnologien und alternativen Materialien lassen sich die Kosten in der Rotorblattproduktion spürbar reduzieren.

Das BladeMaker-Demonstrationszentrum umfasst die gesamte Fertigungskette der Rotorblattproduktion und verknüpft Konstruktion und Fertigung in neuartiger Weise miteinander: es kommen innovative Materialien zum Einsatz, Prozesse werden optimiert und neue Verfahren angewandt. Das zugrundeliegende integrierte Maschinenkonzept ermöglicht signifikante Zeiteinsparungen im Produktionsablauf und bewirkt eine konstant hohe Fertigungsqualität.

Blatthersteller, Zulieferer von Materialien für den Rotorblattbau und die Maschinenbauindustrie können im Demonstrationszentrum Testläufe mit eigenen oder bereitgestellten Formwerkzeugen (18 Meter langes Segment eines insgesamt 40 Meter langen Rotorblattes) und Materialien fahren, um Möglichkeiten zur Kosteneinsparung in ihrem Fertigungsablauf zu identifizieren.

### Prozesstechnische Optimierungen:

- durch ein spezielles Fertigungsportal können verschiedene Produktionsschritte am selben Maschinenplatz ausgeführt werden, indem einfach nur der Prozesskopf ausgewechselt wird.
- Fertigung der Form ohne Urmodell durch den Einsatz einer CNC-Steuerung in Verbindung mit CAD-CAM-Tools.

- innovatives Greifprinzip für Zuschnittablage fasst mehrere ebene Lagen und platziert diese auf einem Träger, wo der nächste Schritt der Umformung erfolgt. Danach wird der umgeformte Stapel mit dem Greifsystem punktgenau im Formwerkzeug platziert.

Seit Inbetriebnahme des Demonstrationszentrums im Jahr 2017 arbeiten die IWES-Wissenschaftler intensiv an der Verfeinerung der Fertigungstechnologien. Der Fokus liegt auf einzelnen Prozessschritten und der Entwicklung neuer Verfahren wie 3D-Drucktechnologien für die effiziente Produktion von Rotorblattdetails. Schwerpunkt bleibt dabei die Industrialisierung und Digitalisierung der gesamten Prozesskette.

### Ausstattung

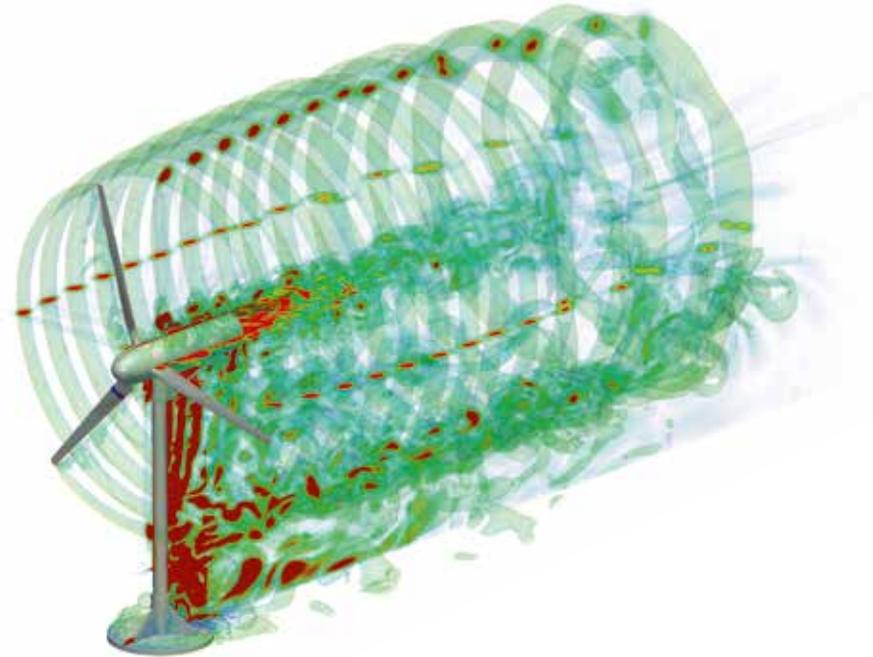
- CNC-gesteuerte Produktionsanlage mit zwei kooperierenden 6-Achs-Portalen (Arbeitsraum 5 x 2 x 25m), Nutzlast: max. 400 kg pro Portal
- Rotorblatt-Formwerkzeuge mit Flatback-Profilen und integrierten Sensoren (18m-Segment eines 40m-Blattes)
- Zuschnittcenter
- Prepreg-Anlage und Tape-Legesystem
- Automatisierte Ablage großer Zuschnitte und Preforms
- Automatisierter Schaumauftrag
- Direktinfusionsanlage
- Handhabungsvorrichtungen für Blattkomponenten
- Systeme zum automatisierten Klebstoffauftrag und zur automatisierten Oberflächenbearbeitung

## AERODYNAMISCHES BLATTDESIGN

In der Windenergie bergen numerische Simulationen ein hohes Potenzial für Kostensenkungen und Effizienzsteigerungen. Aus diesem Grund unterstützt das Fraunhofer IWES die Entwickler von Rotorblättern mit umfangreichem Know-how in den Bereichen aerodynamisches Blattdesign und Struktursimulation für Rotorblätter.

Der Trend geht zu immer längeren und elastischeren Rotorblättern. Die Berücksichtigung aeroelastischer Effekte wird deshalb immer wichtiger. Das Institut nutzt numerische Strömungssimulationen – Computational Fluid Dynamics (CFD) – in Kombination mit Fluid Structure Interaction (FSI), um die Aerodynamik von Rotorblättern vollständig abzubilden.

Dieses kombinierte Verfahren ermöglicht deutlich präzisere Aussagen zur Dimensionierung von Rotorblättern als herkömmliche Methoden. Mit genaueren Daten lassen sich kalkulatorische Sicherheitsfaktoren wesentlich reduzieren – das gilt insbesondere in Situationen von schräger Anströmung des Blattes oder bei sehr flexiblen Rotorblättern. Die Aerodynamik-Experten



verfügen über eine komplette Simulationskette, mit der sich standardgemäß die Situationen, denen Anlagen ausgesetzt sind, vollständig rechnerisch abbilden lassen. Bei Schräganströmung oder Extrem-Sturm-Situationen wird dabei mit vollen Strömungsstrukturkopplungen gerechnet. Die Design-Tools des Instituts basieren auf dem Open-Source-CFD-Code „Open Foam“, der interessierten Blattdesignern zur Verfügung gestellt werden kann.

Die Herstellung von Faserverbundwerkstoffen ist komplex, langwierig und erfordert viel Know-how. Durch seine langjährige Erfahrung in der Faserverbundsimulation ist das Fraunhofer IWES in der Lage, die Hersteller kompetent in diesem Bereich zu unterstützen. Zum Leistungsportfolio gehört unter anderem das Nachrechnen von Strukturdetails – auch im Rahmen von Validierungsprüfungen – sowie die Auslegung von Prüflingen, das Durchführen von Schädigungsrechnungen und die Implementierung von Materialmodellen. Die Berechnungen erfolgen mit modernen numerischen Methoden wie zum Beispiel FEM-Simulationen mit ANSYS.

## IHRE VORTEILE AUF EINEN BLICK

Länger, schlanker und langlebiger bei niedrigen Produktions- und Betriebskosten – die Anforderungen an Rotorblätter sind enorm. Als Entwicklungspartner der internationalen Windenergieindustrie bieten wir Forschungsdienstleistungen auf hohem Niveau:

- Einmalige Infrastruktur: von der Materialprüfung über die Fertigung bis zum Ganzblatttest
- Zertifizierung nach DIN EN ISO 9001:2008 und akkreditiertes Prüflabor nach ISO 17025
- Erfahrung von über 30 abgeschlossenen Ganzblatttests für die Zertifizierung
- State-of-the-Art Demo-Center für die Rotorblattfertigung
- Individuell und flexibel auf Kundenbedürfnisse zugeschnittene Entwicklungsdienstleistungen
- Am Puls der Zeit durch Präsenz in internationalen Normungsausschüssen und Gremien
- Exzellente Anbindung an die deutsche und europäische Hochschullandschaft



## KONTAKT



**Dr.-Ing. Steffen Czichon**  
Abteilungsleiter Rotorblätter

Telefon: +49 471 14290-383  
steffen.czichon@iwes.fraunhofer.de



**Dipl.-Ing. Florian Sayer**  
Gruppenleiter Faserverbundtechnologie

Telefon: +49 471 14290-329  
florian.sayer@iwes.fraunhofer.de



**Dr. rer. nat. Bernhard Stoevesandt**  
Abteilungsleiter für Aerodynamik,  
CFD und stochastische Dynamik  
Telefon: +49 441 798-5011  
bernhard.stoevesandt@iwes.fraunhofer.de



**Dipl.-Ing. Willi Wroblewski**  
Gruppenleiter Blattprüfung  
Telefon: +49 471 14290-336  
willi.wroblewski@iwes.fraunhofer.de

## Förderer



### Herausgeber

Fraunhofer IWES  
Am Seedeich 45  
27572 Bremerhaven  
[www.iwes.fraunhofer.de](http://www.iwes.fraunhofer.de)

Das Fraunhofer-Institut für Windenergiesysteme IWES ist eine rechtlich nicht selbstständige Einrichtung der Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V.

Fraunhofer Gesellschaft  
zur Förderung der angewandten  
Forschung e.V.  
Hansastraße 27 c  
80686 München  
[www.fraunhofer.de](http://www.fraunhofer.de)

### Redaktionsteam

Beata Cece (Koordination)  
Steffen Czichon  
Florian Sayer  
Bernhard Stoevesandt  
Willi Wroblewski

### Gestaltung

designagl, Bettina Nagl-Wutschke

### Druck

müllerditzen AG  
Druckmanufaktur am Meer

### Bildnachweise

Titel: Jens Meier  
S. 2: Paul Langrock  
Infografik S. 4: Pascal Behning  
S. 6: Martina Buchholz  
Infografik S. 8: Bettina Nagl-Wutschke  
S. 9: Jan Meier  
S. 10, 11, 12, 13: Pascal Hancz  
S. 14: Harry Zier  
S. 16: Fraunhofer IWES  
S. 17: Dieter Hergeth  
S. 18: Helmut Gross

**Stand: August 2018**

